Gletscher- und Eiszeit-Studien.

Von Prof. **H. Höfer** in Klagenfurt.

(Mit 1 Tafel.)

Die Lage der Firnlinie in der Gegenwart.

Es ist genugsam bekannt, dass die Firnlinie in ein und demselben Gletschergebiete in verschiedenen Höhen liegt; diese Differenz hängt vorwiegend von der Richtung ab, unter welcher der gesammte Gletscher den Sonnenstrahlen exponirt ist.

Eine andere, gewiss auch von Vielen schon beobachtete Thatsache ist die, dass in einer Gebirgsgruppe derjenige Gletscher tiefer in das Thal reicht, dessen Firnkamm in grösserer Seehöhe gelegen ist. Am deutlichsten tritt dies dort hervor, wo zwei Gletscher, vermöge ihrer gleichen oder sehr ähnlichen Exposition, auch die Firnlinien in gleicher Seehöhe zeigen; jener Gletscher, dessen Firnkamm eine grössere absolute Durchschnittshöhe aufweist, wird, wenn nicht ausserordentliche Einflüsse mitwirken, auch seine Stirn- oder Endmoräne tiefer ins Thal hinabschieben, als sein Nachbar, wenn dieser nach oben hin von einem tiefer gelegenen Firnkamm begrenzt ist. Aus diesen angedeuteten Thatsachen, die ja bei jeder Gletscherfahrt sofort in die Augen springen, geht hervor, dass zwischen der verticalen Entwicklung des höher gelegenen Firnfeldes, welchem die productive Rolle zufällt, und der des tieferen Eisfeldes, das gewöhnlich mit dem Namen Gletscher — im engeren Sinne des Wortes — bezeichnet wird, und längs welchem die Aufzehrung stattfindet, eine Beziehung herrscht, mit anderen Worten, dass die verticale Höhe der Eiszunge eine Function von jener des Firngebietes ist.

Ich hatte es mir zur Aufgabe gestellt, diese gegenseitige Abhängigkeit eingehender zu studiren und wählte hiezu grössere

Gletscher I. Ordnung (primäre oder Thalgletscher), da bei diesen vorauszusetzen war, dass die localen Einflüsse weniger zum Ausdrucke gelangen, als bei den kleineren oder gar bei den secundären, welche für derartige Studien absolut unbrauchbar sind. Schon durch allgemeine theoretische Betrachtungen gelangte ich zu dem Schlusse, dass die Firnlinie in halber Höhe zwischen der durchschnittlichen Kammlinie und dem unteren Gletscherende (Endmoräne) liegen müsse; doch musste ich mir gestehen, dass möglicher Weise die localen Einflüsse diese Gesetzmässigkeit wesentlich beeinträchtigen, ja vollends verwischen könnten, wesshalb ich jede weitere Speculation fallen liess und daran ging, jene Gletscher zu studiren, welche mir entweder selbst bekannt waren oder über welche mir die Literatur alle nothwendigen Behelfe zur Verfügung stellte. Ich sage es schon jetzt, dass ich den früher ausgesprochenen Satz: die Firnlinie liegt in halber Höhe zwischen dem Firnkamm und dem Gletscherende, vollständig bestätigt fand.

Dieses Resultat, welches für den Geographen, wie auch Geologen von gleichem Interesse sein dürfte, bedarf jedoch der allgemeinsten Bestätigung; ich veröffentliche desshalb meine eigenen Berechnungen, soweit ich dieselben auf Basis der mir zur Verfügung stehenden Literatur dürchführen konnte, mit der Bitte, es mögen Andere weiteres Materiale sammeln, hieran den aufgestellten Satz prüfen und die gefundenen Resultate mir handschriftlich oder in gedruckter Form gütigst zukommen lassen.

Eine Meinung, die sich unwillkührlich zu Beginn derartiger Studien aufdrängt und der man auch in der Literatur begegnet, ist die, dass die Höhenlage des Gletscherendes bei gleicher Exposition vorwiegend von der Grösse (Fläche) des Firnfeldes abhängt und dass einem grösseren Firnfelde auch ein tiefergehender Gletscher, entsprechen müsse. Diese Anschauung scheint ganz naturgemäss zu sein, ist jedoch unrichtig, wie ich das nicht mit einer theoretischen Betrachtung, sondern mit Hilfe von Thatsachen beweisen will.

Ich greife aus den vielen Beispielen nur wenige, u. z. charakteristische heraus und beziehe mich hiebei auf K. v. Sonklar's gediegenes und umfassendes Werk: „Die Gebirgsgruppe der Hohen-Tauern". In der Tabelle auf Seite 289 findet man für nach-

folgende zwei primäre Gletscher, bei welchen die Firnlinien in nahezu gleicher Seehöhe gelegen sind, folgende Zahlen:

Gletscher	Area des Firnfeldes in Wr. □Fuss	Mittl. Höhe des oberen Gletscherrandes	Abs. Höhe d. Gletscherausganges	Abs. Höhe d. Firnlinie
		Wiener Fuss		
Pasterzen- . .	221,508.000	10.430	6.058	8.500
Isel-	86,857.000	9.775	6.640	8.550

Während also bei dem Iselgletscher das Firnfeld nur 39% von jenem der Pasterze ist, sehen wir die Endmoräne des ersteren nur um 582′ höher als jene der Pasterze. Noch deutlicher tritt diese Differenz hervor, wenn man z. B. den Karlinger Gletscher der Glocknergruppe mit seinem Nachbarn, der Pasterze, vergleicht. Ersterer hat die Firnlinie um circa 400′ tiefer als diese, sein Firnfeld ist nur der fünfte Theil von jenem der Pasterze; und doch liegen ihre beiden Endmoränen fast genau in derselben Seehöhe. Ein anderes Beispiel, wo zwei Gletscher nahezu gleich grosse Firnfelder haben, entnehme ich K. v. Sonklar's trefflichem Werke: „Die Ötzthaler Gebirgsgruppe", Seite 278. Dort wird das Firnfeld des Gepaatschgletschers mit 220·8, jenes des Hintereisgletschers mit 219·5 Millionen Wiener Quadratfuss angegeben; es wäre somit zu erwarten, dass beide die Endmoräne in nahezu gleicher Höhe haben; doch sie ist für den ersten mit 5.983, für den letzteren mit 6966·3 Wiener Fuss gemessen worden. Derartige Beispiele, welche beweisen, dass die Verbreitung des Gletschers thalabwärts von der Grösse der zugehörigen Firnfelder nicht abhängig ist, lassen sich aus jedem entwickelteren Gletschergebiete angeben; da jedoch die grossen Firnfelder gewöhnlich nur dort auftreten, wo der Firnkamm zu bedeutender Seehöhe ansteigt, und da dieser (im Vereine mit der Höhenlage der Firnlinie) die untere Gletschergrenze bedingt, so sind wir irrthümlich gewohnt zu glauben, dass die grossen Firnfelder die eigentliche Ursache der tiefgehenden Gletscherzungen seien. Ich scheue mich nicht

zu gestehen, dass ich ebenfalls durch längere Zeit von diesem Irrthume befangen war und erst durch viele vergleichende Studien unserer alpinen Gletscher eines Richtigeren belehrt wurde.

Wenn ich in meinen Betrachtungen weniger Gewicht auf die Bestimmung der Schneelinie legte, welche bekanntlich von der eigentlichen Firnlinie, der Grenze zwischen Firn und Eis an der Oberfläche eines Gletschers, getrennt werden muss, so wären hiefür mehrere Gründe massgebend. Die Schneelinie, welche, im ausgedehntesten Begriffe des Wortes, im Laufe eines Jahres innerhalb unserer Alpenzone zwischen der Meereshöhe und circa 3000 Meter Seehöhe oscillirt, ist auch im eingeengten richtigen Begriffe bei weitem nicht so constant und viel schwieriger zu bestimmen als die Firnlinie, wie dies auch schon von Hugi mit den Worten hervorgehoben wird: „Diese Linie (Firnlinie) ist in ihrer Höhe viel bestimmter als die sogenannte Schneelinie, weil auf diese das verschiedene Terrain des Bodens, die Felsarten, die verschiedene Lage, die Vegetation u. s. w. einen grossen Einfluss ausüben, was bei der Firnlinie nie der Fall ist.“ Überdies ist die Schneelinie viel unsicherer zu bestimmen, da sie bei einem Gletscher schon im Verlaufe der wenigen warmen Monate in viel erhöhterem Masse auf- und abwärts steigt, als dies bei der Firnlinie auch nur annähernd der Fall ist. Diese Schwierigkeiten sind schon mehrfach und eingehend von tüchtigen Gletscherforschern besprochen worden; ich will nur noch das Eine hinzufügen, dass die Firnlinie vermöge ihrer constanteren Lage in ihrer Seehöhe von jener Zeit ab, wo die Schneelinie oberhalb von ihr zu liegen kommt, richtig bestimmt werden kann; hingegen ist die Schneelinie z. B. im Laufe des Monates August sehr variabel, und die klimatischen Factoren dieses Monates allein können die Seehöhe der Schneelinie ganz bedeutend beeinflussen; hingegen ist die Lage der Firnlinie der summarische Ausdruck der klimatischen Verhältnisse einer ganzen Reihe von Jahren. Sie lässt sich häufig mit Hilfe der Mittelmoränen sehr genau bestimmen, und ist somit auch auf hypsometrischen Detailkarten, in welchen die Firnlinien leider nur selten eingezeichnet sind, leicht aufzufinden. Ich verweise auf die Pasterze, welche mir aus mehrfachen Besuchen näher bekannt ist, und bei welcher ich stets das obere Ende der Mittelmoräne in der Firnlinie liegend fand, wie dies füglich auch

nicht anders zu erwarten ist, denn die hoch hinauf reichenden Mittelmoränen bilden sich schon im Firngebiete, sind jedoch daselbst von Firn bedeckt; dort, wo dieser nach abwärts gänzlich verschwindet, d. i. die Firnlinie, wird die bisher eingeschlossene Moräne an die Oberfläche des Gletschers treten müssen. Meine an der Pasterze gemachten Beobachtungen stimmen auch mit den Aufzeichnungen der Gebrüder v. Schlagintweit und F. Keil's (Ende der vierziger Jahre) und mit den Zeichnungen und Photographien der Pasterze aus den fünfziger und sechziger Jahren. Daraus kann gefolgert werden, dass bei der Pasterze, welche bekanntlich unter den europäischen Gletschern einer der hervorragendsten ist, da ihr der 9. Rang gegeben wurde, die Seehöhe der Firnlinie seit den letzten Jahren nur unbedeutend oscillirt hat.

Wie schon wiederholt erwähnt wurde, ist für die vorliegenden Studien auch eine möglichst genaue Berechnung der Seehöhe des Firnkammes absolut nothwendig; in einigen wenigen Fällen konnte ich diese Arbeit nicht durchführen, da mir die hiezu nöthigen hypsometrischen Detailkarten fehlten; ich benützte dann die bereits publicirten Zahlenwerthe. Bei der Bestimmung der Seehöhe ging ich auf die Weise vor, dass ich den Firnkamm, welcher bei der Firnlinie beginnt und auch bei dieser endet, in ein zusammenhängendes System von auf- und absteigenden Geraden zerlegte, deren Endpunkte entweder durch directe Messungen oder durch die Hypsen gegeben waren. Durch die die Endpunkte der einzelnen Kammlinien projicirenden Geraden (die absoluten Seehöhen) und durch die horizontale Projection jeder Kammlinie auf die Ebene des Meeres (Entfernung zweier Punkte in der Karte) erhält man Trapeze, deren Flächen berechnet wurden, u. z. dadurch, dass die horizontale Projection einer geraden Kammlinie als Höhe des Trapezes angenommen wurde, während die beiden parallelen Seiten durch die Seehöhen ihrer beiden Endpunkte gegeben waren. Die Summe aller Trapezflächen eines Firnkammes dividirt durch dessen horizontale Länge, d.i. die Summe der Längen der einzelnen horizontalen Projectionen, ergab die durchschnittliche Seehöhe des Firnkammes, welche meinen weiteren Studien diente.

Es ist wohl nicht nothwendig, zu erwähnen, dass man sich diese etwas langwierigen Rechnungen dadurch einigermassen vereinfachen kann, dass man statt der Meeresfläche eine andere höher

gelegene Horizontalebene annimmt, wodurch selbstverständlich an dem Wesen der Berechnung nichts geändert wird.

Ich hielt es für nothwendig, auf diese einzig richtige Art der Bestimmung der Firnkamm-Seehöhe etwas eingehender hinzuweisen, indem ich hie und da zu anderen Werthen gelangte, als sich in der Literatur vorfinden und da ich alle Jene, welche an irgend einem Gletschergebiete Studien in der von mir eingeschlagenen Richtung anstellen wollen, auf diese Berechnungsmethode verweisen muss.

Im Nachfolgenden gebe ich ohne alle Auswahl jene Zahlenwerthe, welche ich entweder in der Literatur vorfand, oder auf Basis genauer Messungen berechnete; sie alle beweisen die Richtigkeit des Satzes, dass die Firnlinie in der halben Höhe zwischen Firnkamm und Gletscherabschwung (Endmoräne) liegt; manchmal ist die Übereinstimmung der Zahlenwerthe eine ganz vollkommene, bei anderen ergeben sich kleine Differenzen, welche jedoch in Procenten der gesammten verticalen Gletscherhöhe ausgedrückt, unbedeutend genannt werden müssen und im vorhinein zu erwarten waren, da die in Rechnung gebrachten Werthe nicht immer volle Genauigkeit besitzen, insbesondere die Höhe der Firnlinie leider nur zu häufig nur schätzungsweise angegeben wird und die diversen Höhencoten eines Gletschers aus verschiedenen Zeiten stammen.

In meinen nachstehenden Erörterungen beginne ich mit den Alpen, hiebei von Ost nach West vorschreitend, um dann auf aussereuropäische Gletschergebiete zu übergehen.

I. Die Glocknergruppe.

A. Die Pasterze.

Hiefür wurde die vom deutschen Alpenvereine[1] herausgegebene hypsometrische Karte, bearbeitet von P. Wiedemann, als Basis genommen. Die Kammlinie, welche mit der Firnlinie anhebt, über den Hohenwart, Glockner, Johannisberg, hohe Riffel, vorderen und mittleren Bärenkopf, Eiswandhübel und Breitkopf geht und abermals mit der Firnlinie endet, wurde möglichst genau

[1] S. dessen Jahrbuch, II. Band.

aus 34 Punkten berechnet, von diesen sind 14 gemessene Gipfel, 6 Sättel (respective Scharten), 2 Punkte der Firnlinie und die übrigen 12 durch die eingezeichneten 300 Meter-Hypsen gegeben. Hieraus bestimmte ich nach der bereits früher angegebenen Methode die Firnkammhöhe mit 3292 Meter, womit auch die von K. v. Sonklar[1] ermittelte Zahl (10.430 Wiener Fuss = 3296·7 Meter) sehr gut übereinstimmt.

Die Firnlinie geben die Gebrüder Schlagintweit[2] bei dem Gletschersturze zwischen dem kleinen und mittleren Burgstall an, und bestimmten den Beginn der Moränen bei dem ersteren mit 2.688·3, bei dem letzteren mit 2.675.[3] Die neueren Messungen — ich verweise nur auf die Wiedemann'sche Karte — lassen diese Ziffern als etwas zu gross erscheinen, da die 2.700 Metercurve den erwähnten Absturz nach obenhin begrenzt, während der Fuss 2.529 Meter nach v. Sonklar hoch gelegen ist. Die Moränen, übereinstimmend mit der Firnlinie, beginnen bei dem kleinen Burgstall nach meinen zweimaligen Messungen in einer Seehöhe von 2.624 Meter. Jene Mittelmoräne, welche gegen den grossen Burgstall und auf einem gegen Süd exponirten Gletschertheile gelegen ist, steigt jedoch höher an. Ich habe ihren oberen Endpunkt nicht gemessen, schätze ihn jedoch auf Basis der Wiedemann'schen Karte auf 2.700 Meter möglicher Weise auch etwas darüber.

v. Sonklar verlegt, übereinstimmend mit Schlagintweit's und meinen eigenen Beobachtungen, die Firnlinie zwischen die beiden unteren (untere und mittlere) Burgställe nicht ganz so hoch als der Gipfel des kleinen Burgstalls, also ungefähr 8500 Wiener

---

[1] Die Gebirgsgruppe der hohen Tauern, Seite 154. v. Sonklar berechnete diese absolute Mittelhöhe der Umrandung des Firnfeldes aus 13 Gipfel- und 7 Sattelhöhen.

[2] H. und A. v. Schlagintweit: Untersuchungen über die physikalische Geographie der Alpen, Seite 55.

[3] Die Gebrüder Schlagintweit bezogen ihre Messungen auf die Johannishütte, für welche sie 2462·6 Meter Seehöhe angeben, die jedoch nach neueren Messungen nur 2430 Meter hoch gelegen ist; es sind somit von den obigen Zahlen 32·6 Meter abzuziehen, woraus sich die rectificirte Seehöhe für den Beginn der Moränen berechnet:

Bei dem kleinen Burgstall 2655·7 Meter
„ „ mittleren „ 2642·4 „

Fuss (2686·7 Meter;[1]) ferner gibt er die mittlere Höhe des oberen Randes der Eiscourtine zwischen dem grossen und kleinen Burgstall mit 8450 Wiener Fuss = 2670·9[2] Meter an; da nun die Firnlinie in diese Courtine fällt, so muss sie etwas niedriger sein und v. Sonklar hat in seiner Schätzung etwas zu hoch gegriffen.

Aus allen den mitgetheilten Angaben folgt, dass die Firnlinie der Pasterze zwischen 2624 und 2650 Meter gelegen ist.

Das untere Gletscherende oder die Endmoräne liegt:

Nach	Pasterzen-See	Ende bei Margaritzen
Wiedemann	1.998	1.906
v. Sonklar	— [3]	1.914·8

Das Gletscherende ist durch diese beiden genannten Punkte gegeben, also zwischen 1998 und 1906 Meter, woraus sich als Durchschnitt 1.952 Meter rechnet. Es ergibt sich somit die absolute Höhe

des Firnkammes mit 3292 Meter,
der Firnlinie „ 2624 bis 2650 Meter,
des unteren Endes mit 1952 Meter.

Berechnet man die Firnlinie (F) unter der Voraussetzung, dass sie in halber Höhe zwischen dem Firnkamme (K) und dem Gletscherende (E) gelegen ist, so findet man:

$$F = \frac{K+E}{2} = \frac{3292+1952}{2} = 2622 \text{ Meter.}$$

Dieses Resultat stimmt somit vollends befriedigend mit der in der Natur constatirten und früher erläuterten Höhenlage der Firnlinie.

---

[1] Die Gebirgsgruppe der hohen Tauern, Seite 152.

[2] Die Gebirgsgruppe der hohen Tauern, Seite 154.

[3] Der hiefür nach v. Schlagintweit angegebene Werth ist zweifelsohne nicht richtig.

B. Der Karlinger Gletscher.

Von dem nördlichen Kammtheile der Pasterze zieht sich gegen Nord hinab der Karlinger Gletscher, den obersten Theil des Kapruner Thales erfüllend. Er ist nach Nord, hingegen die Pasterze gegen SO exponirt. Es liegen somit hier zwei Gletscher der Glocknergruppe vor, welche in ihrer Exposition, auch in der Grösse der Firnfelder und ihrer Längen, auffallend stark abweichen. Ich hatte somit hier zuerst Gelegenheit, den aufgestellten Satz über die Höhenlage der Firnlinie auf seine Richtigkeit zu erproben.

Die mittlere Höhe des Firnkammes habe ich ebenfalls nach der Wiedemann'schen Karte ermittelt, und hatte nebst dem Ausgang- und Endpunkte (Höhe der Firnlinie) noch 6 Gipfel (grosser, kleiner, mittlerer und vorderer Bärenkopf, die hohe Riffel, Thorkopf), 3 Sättel (Kapruner Thörl, Riffl Thor und einem unbenannten), und 11 Punkte der Hypsen in Rechnung gebracht. Aus diesen Werthen fand ich nach der bekannten Methode die mittlere absolute Höhe des Firnkammes mit 3065 Meter.[1] Die Firnlinie liegt nach v. Sonklar in 2527 Meter. Die Seehöhe des unteren Gletscherendes ist 1997 Meter (v. Sonklar und, wie es scheint nach ihm Wiedemann).

Es ist somit:

Mittlerer Firnkamm (K) . . . . 3065 Meter.
Firnlinie (F) . . . . 2527 „
Unteres Gletscherende (E) . . . . . 1997 „

Nach der aufgestellten Gesetzmässigkeit ist:

$$F = \frac{K+E}{2} = \frac{3065+1997}{2} = 2531 \text{ Meter},$$

stimmt also mit der gemessenen absoluten Höhe der Firnlinie (2.527 Meter) überaus befriedigend überein.

---

[1] v. Sonklar gibt (Seite 296 der „hohen Tauern") dieselbe mit 10.080 Wr. Fuss = 3.186·1 M. an, wesshalb ich meine Rechnungen mehrmals wiederholte, kam jedoch immer zu gleichem Resultate; ich vermuthe, dass v. Sonklar bei der Berechnung der Kammlinie nicht von der Firngrenze, die in diesem Falle sehr tief liegt, ausging, was bei einer kurzen Kammlänge sehr empfindlich einwirkt, hingegen bei langen weniger bemerkt wird.

Da mir die Angaben oder eigenen Messungen über die Lage der Firnlinie von anderen Gletschern der Glocknergruppe fehlen, so bin ich nicht im Stande noch einige Proben aus diesem Gebiete anzureihen. Ich will nur noch bemerken, dass sich bei der Berechnung der Höhe der Firnlinie südseits exponirter Gletscher durchwegs höhere Werthe ergeben, als bei den nordseits abfliessenden, womit die bekannten Erfahrungen übereinstimmen.

II. Die Ötzthalergruppe.

Um die Kenntniss dieses reich entwickelten Gletschergebietes hat sich v. Sonklar durch sein umfassendes Werk: „Die Ötzthaler Gebirgsgruppe mit besonderer Rücksicht auf Orographie und Gletscherkunde (1861)" ganz besondere Verdienste erworben; die für unsere Zwecke nothwendigen Zahlen sind daselbst auf Seite 278 zusammengestellt und wir werden nochmals Gelegenheit nehmen, uns darauf zu berufen, haben dieselben jedoch in Meter umgewandelt, um sie in Einklang mit der benützten Karte zu bringen; diese nach den Aufnahmen des k. k. militär-geographischen Institutes von Prof. Dr. K. Haushofer und Hoffmann vorzüglich ausgeführt und von dem deutschen und österreichischen Alpenvereine herausgegebenen Blätter haben die Isohypsen in einer Entfernung von 100 Meter und überdies noch viele directe Höhenmessungen eingezeichnet, sind somit zur Bestimmung der durchschnittlichen Höhe des Firnkammes und des Gletscherfusses ganz vorzüglich geeignet; hingegen fehlen darin die Firnlinien, für welche v. Sonklar's ältere Messungen benützt werden mussten. Diese beziehen sich auf folgende Ferner: Gepaatsch, Gurgler, Mittelberg und Langthal; die drei erstgenannten wurden einer Analyse unterworfen, während der letztere aus mehreren Gründen nicht weiter berücksichtigt wurde, u. z. 1. ist derselbe sehr klein und ist desshalb nicht von Belang, sobald sich die nachzuweisende Gesetzmässigkeit an den drei anderen unvergleichlich ausgedehnteren Gletschern bewahrheitet und 2. scheint mir bei der Bestimmung der Firnlinienhöhe des Langthalferners eine Irrung unterlaufen zu sein; er ist nämlich unmittelbar neben dem grossen Gurgler-Ferner gelegen und gleich diesem exponirt, trotzdem soll seine Firnlinie um fast 200 Meter tiefer liegen als bei diesem, was mir, überdies noch mit Rücksicht darauf, dass

die Höhenlage der Firnlinie der anderen drei Gletscher befriedigend übereinstimmt, nicht richtig zu sein scheint.

A. Der Gurglerferner.

Derselbe fällt in die beiden Sectionen: Similaun und Hochwilde der früher erwähnten Karte; er zeigt, im Grossen aufgefasst, vom Firnfelde nach abwärts eine allmälige Verjüngung seiner Breite, bis er sich am Fusse fast zu einer Spitze auszieht. Der Firnkamm wurde aus 42 Trapezen berechnet, diese wurden aus 10 gemessenen Höhen, den beiden an der Firnlinie gelegenen Enden und aus 20 anderen Punkten bestimmt, von welch' letzteren der grössere Theil auf die Hypsen, der kleinere auf die hieraus abgeschätzten Sattelhöhen entfällt.

Bei dieser Gelegenheit muss ich hervorheben, dass an der Grenzlinie der beiden Sectionen bei der 3200 Meter-Hypse ein Constructionsfehler in der Karte gefunden wurde, welcher jedoch im Resultate der Rechnung ohne fühlbaren Einfluss ist. Die Firnkammhöhe (K) ergibt sich mit 3240·5 Meter, der Gletscherfuss (E) ist in der Karte an der 2200 Metercurve eingezeichnet; daraus ergibt sich für die Höhe der Firnlinie

$$F = \frac{3.240{\cdot}5 + 2.200}{2} = 2720{\cdot}2 \text{ Meter,}$$

welche nach v. Sonklar's Messung 2768·9 Meter ist. Die Differenz dieser beiden Zahlen = 40·7 Meter ist gewiss so unbedeutend und beträgt von der gesammten Gletscherhöhe nur 4·6 Procent, so dass eine vollends befriedigende Übereinstimmung zwischen dem theoretisch berechneten und dem in der Natur gemessenen Zahlenwerthe herrscht.

B. Der Mittelbergferner.

Er ist gegen Nord exponirt und dadurch ausgezeichnet, dass er in der Karte eine retortenähnliche Gestalt zeigt, welche von der ausserordentlichen Breite des Firnfeldes bedingt ist; dieses ist seiner Fläche nach circa zehnmal grösser[1] als die des eigentlichen Gletschers, ein Verhältniss, welches selten aufzutreten pflegt. Eine andere Eigenart des Mittelbergferners ist gewiss die, dass

[1] Nach der Karte des deutsch. u. öst. Alpenvereines.

die Eiszunge bei ihrem Austritte aus dem Firnfelde sofort fast kaskadenartig herabstürzt u. z. bei einer horizontalen Länge von 700 Meter von 2700 Meter Seehöhe auf 2300 Meter fällt, was einem Gefälle von 30° entspricht; auch die weitere Fortsetzung dieses Eisstromes zeigt ebenfalls ein ungewöhnlich grosses Gefälle, während das Firnfeld nur wenig geneigt ist. An den oberen Rand des erwähnten Gletscherfalles käme die von v. Sonklar bestimmte Firnlinie zu liegen, kann jedoch in der That auch etwas tiefer gelegen sein, da es unendlich schwierig ist, innerhalb eines Gletscherfalles die Firnlinie richtig zu bestimmen. Dieser ausserordentliche Unterschied in den Gefällverhältnissen des Firn- und des Eisfeldes ist eine harte Probe für jene Gesetzmässigkeit, welche in den vorliegenden Studien nachgewiesen werden soll und es muss von grösstem Werthe sein, zu bestimmen, welchen Einfluss die massgebendsten Störungen erreichen können.

Die Höhe des Firnkammes wurde aus 60 Trapezen berechnet, wozu 19 gemessene Punkte (darunter zweimal die Firnlinie), das Übrige Punkte der Hypsen und hieraus construirte Sättel verwendet wurden; sie wurde mit 3271·3 Meter gefunden. Der convex nach abwärts gekrümmte Gletscherfuss liegt zwischen 1830 und 1870 Meter, somit im Durchschnitte in 1850 Meter.

Es ist somit die Firnlinie

$$F = \frac{3271{\cdot}3 + 1850}{2} = 2560{\cdot}7 \text{ Meter,}$$

wird jedoch von v. Sonklar mit 2702·5 Meter angegeben. Diese Differenz von 141·8 Meter beträgt nur 9·9 Procent der gesammten Gletscherhöhe und ist als ein Maximum zu betrachten, indem ja, wie erwähnt, die Firnlinie nach v. Sonklar am obersten Rande des Gletscherabsturzes angenommen wurde, während sie höchst wahrscheinlich in diesen fällt, daselbst jedoch sehr schwer genau zu bestimmen ist; ergäbe sich darin die Firnlinie nur um 100^m tiefer, so beträgt die Differenz zwischen der theoretischen und wirklichen Firnlinie nur 2·9 Procente der gesammten Gletscherhöhe. Dieses Beispiel zeigt klar, dass selbst die ungünstigsten Terrainverhältnisse auf die Lage der Firnlinie, in halber Höhe zwischen dem Gletscherfusse und dem Firnkamme, keinen wesentlichen Einfluss nehmen.

C. Der Gepaatschferner

ist sowohl hinsichtlich seiner gesammten Länge als auch seiner Oberfläche nach der grösste Gletscher der Ötzthaler Gruppe, und ist unter den Gletschern der gesammten europäischen Alpen der siebent längste. Er hat eine retortenähnliche Gestalt, sein Firnfeld ist nach NO, die Eiszunge nach NW exponirt; ersteres ist mindestens 3·7mal grösser als letztere. v. Sonklar verdanken wir noch folgende Zahlenangaben:

Absolute Höhe des Firnkammes	(*K*)...3323.6	Meter.
„ „ „ Gletscherfusses	(*E*)...1891·1	„
„ „ der Firnlinie	(*F*)...2655·1	„

Aus den beiden erstgenannten Werthen berechnet sich

$$F = \frac{K + E}{2} = 2607·4 \text{ Meter,}$$

wobei sich also gegenüber der gemessenen Höhe eine Differenz von nur 47·6 Meter ergibt, welche von der gesammten Gletscherhöhe 3·3 Procente beträgt.

D. Der Taschachferner.

Von diesem finde ich in v. Sonklar's Werke keine Angabe über die Höhe der Firnlinie, doch ist auf der Karte des deutschen und österreichischen Alpenvereines am Westufer eine Seitenmoräne eingezeichnet, welche etwas über die 2700 Meter-Hypse hinaufreicht, und aus welcher ich die Höhe der Firnlinie mit 2730 Meter bestimmte.

Auch der unmittelbar nach Westen vorliegende und nur durch den Grat der Pitzthaler Urkund getrennte Sechsegartenferner hat an seiner Ostseite eine Seitenmoräne, welche in gleicher Höhe wie die früher erwähnte beginnt; ich glaube somit hieraus schliessen zu dürfen, dass die angenommene Seehöhe der Firnlinie genügend genau ist.

Den Firnkamm habe ich aus 6 Gipfel- und 5 Sattelhöhen mit 3434 Meter berechnet; den Gletscherfuss entnehme ich aus der Karte mit 2030 Meter absoluter Höhe. Hieraus berechnet sich die theoretische Firnlinie *F* mit 2732 Meter, stimmt somit mit jener mittelst der Moräne bestimmten genau überein.

III. Monte-Rosagruppe.

Es musste von besonderem Werthe sein, diesen mächtig entwickelten Gneissstock, dessen Spitze bis zu 4640 [1] Meter hinanreicht, zu untersuchen; er wird zwar in seiner Gipfelhöhe vom Montblanc übertroffen, ist jedoch von gewaltigeren Bergriesen als dieser umgeben, so dass der Monte Rosa grossartiger als der nicht einmal 200 Meter höhere, doch isolirtere Montblanc ist. Aus diesem Grunde ist auch die absolute Höhe des Firnkammes der Monte Rosagruppe unter allen europäischen Gletschergebieten die grösste.

Auch darum musste diese Gruppe für die vorliegende Aufgabe von besonderem Interesse sein, da in ihr die Firnlinie unter allen alpinen Gletschern die höchste Meereshöhe erreicht; überdies birgt sie den zweitlängsten Gletscher der Alpen, den Gornergletscher, der sich aus 9 Zuflüssen bildet.

Im Gegenhalte zum Grossglockner ist das Gebiet des Monte Rosa, welches nahezu 5 Längengrade westlicher als jener gelegen ist, darum auch von Bedeutung, da innerhalb des letzteren die Isothermen bedeutend höher als bei jenem gelegen sind, so z. B. findet man in der Monte Rosagruppe die —4° C. Fläche um circa 300 Meter höher als in den hohen Tauern.

Aus dem vorstehend Erörterten geht klar hervor, dass wir in der Glocknergruppe einerseits und in dem Monte Rosagebiete anderseits jene beiden Punkte gegeben haben, in welchen sich die Differenzen der wesentlichsten klimatischen Elemente, die unsere Aufgabe zu berücksichtigen hat, innerhalb der Alpen am stärksten ausprägen.

Die nachstehenden Zahlen entnahm ich den „Neuen Untersuchungen über die physikalische Geographie und die Geologie der Alpen von Ad. und Herm. Schlagintweit (1854)“ und den hiezu gehörigen Karten.

Von den 15 primären Gletschern wählte ich den Gorner- und Lysgletscher für die nachstehenden Untersuchungen aus dem

[1] Nach v. Schlagintweit; die eidgenössische Vermessung gibt die Seehöhe um 2^m kleiner an.

Grunde, weil beide zu den grössten dieses Gebietes gehören und der eine nach Nord und West, der andere jedoch nach Süd abfliesst, somit recht abweichende Verhältnisse repräsentiren.

A. Der Gornergletscher.

Der Firnkamm, welcher mit der Höhe der Firnlinie (2900 Meter) im Westen anhebt, zieht sich über den kleinen Mont Cervin (kleines Matterhorn) zum Breithorn, über die beiden Zwillinge und den Lyskamm zur Parrotspitze, erreicht in der Signalkuppe, Zumsteinspitze, Monte Rosagipfel (Gornerhorn, Dufourspitze) und Nordende seine grösste Höhe (durchwegs über 14.000 Pariser Fuss) und schliesst mit der Cima di Jazzi, dem Stockhorn und der Höhe der Firnlinie gegen NO hin ab. Seine horizontale Gesammtlänge ist 25·7 Kilometer. In diesen Gletscher, dessen Oberfläche auf 50·11□Kilometer angegeben wird, ziehen sich vielfach nackte Felsengrate hinein, den Firn- und Eisstrom in Nebenflüsse theilend.

Zur Bestimmung der Höhe des Firnkammes lagen nur die in Taf. I des Kartenwerkes eingeschriebenen Zahlenwerthe und die auf derselben Tafel befindliche Hypsenkarte, für welche ein grösserer Massstab erwünscht gewesen wäre, vor. Daraus konnte ich 32 Punkte entnehmen, u. z. 10 gemessene Gipfel, 2 gemessene Sättel, 2 Firngrenzen, 12 Punkte aus der Hypsenkarte und noch 6 Punkte aus einem sehr genauen Profile, das auf Taf. II gezeichnet ist, und worin, nebst den in der Karte (Taf. I) eingetragenen und gemessenen Punkten, 4 Sättel- und 3 Gipfelhöhen dem Firnkamme des Gornergletschers angehören. Bezüglich dieses Profils, welches auf eine verticale Nordsüdebene projicirt ist, sei erwähnt, dass ich dasselbe nach der Kammlinie aufwickelte, um die bereits früher angegebene Methode zur Berechnung der Kammhöhe anwenden zu können. Auf diese Weise fand ich die mittlere Seehöhe des Firnkammes (K) mit 3907 Meter; v. Schlagintweit's geben das untere Gletscherende (E) mit 1.842 Meter an.

Hieraus berechnet sich die verticale Höhe des ganzen Gletschers auf 2065 und die mittlere Höhe der Firnlinie auf 2875 Meter. Dieselbe wurde von den mehrmals citirten Autoren mit 2900 Meter[1] gemessen, ist somit gegen die berechnete nur

[1] Neuere Untersuchungen etc., Seite 499.

um 25 Meter höher. Diese Übereinstimmung bei dem zweitlängsten Gletscher der Alpenländer scheint mir von besonderem Werthe zu sein, indem hiermit die Vermuthung unterstützt wird, dass, je länger der Gletscher ist, auch die Differenz zwischen der theoretisch berechneten und der factisch gemessenen relativen Höhe der Firnlinie so verschwindend klein ist, dass jene Gesetzmässigkeit, welche in dieser Studie nachgewiesen werden soll, vollends ungetrübt zum Ausdrucke gelangt.

B. Der Lysgletscher.

Derselbe ist genau nach Süd exponirt, der Firnkamm hebt im Westen mit der Firnlinie (3120 Meter) an, zieht sich von da längs eines kahlen Grates nach Nord zu den beiden Zwillingen, von hier längs des Lyskammes ostwärts bis zur Parrotspitze und weiter südlich über die Ludwigshöhe, über das Schwarz- und Balmenhorn zur Firnlinie herab. Die gesammte horizontele Länge des Firnkammes ist 13·14 Kilometer; die Oberfläche des ganzen Gletschers wird mit 19·04□ Kilometer angegeben. Zur Ermittlung der Firnkammhöhe dienten 18 Punkte, welche 6 gemessenen Gipfeln und 1 einem gemessenen Passe angehören, während überdies noch 3 Punkte aus dem Profile (Atlas, Taf. II), 6 den Hypsenkärtchen (Taf. I) entnommen wurden und 2 (Anfang und Ende) in die Firnlinie fallen. Nach der bekannten Methode wurde die mittlere Höhe des Firnkammes mit 3916 Meter berechnet.

Nach v. Schlagintweit's[1] liegt das untere Ende des Lysgletschers 2.023 Meter über dem Meere, es ist somit die Verticalhöhe des gesammten Gletschers 1843 Meter, die mittlere Höhe der Firnlinie 2970 Meter, welche mit 3120 Meter gemessen wurde, die sich mit 150 Meter ergebende Differenz ist 8 Procent der gesammten Gletscherhöhe und rechtfertigt den früher, gelegentlich der Berechnung über den Gornergletscher ausgesprochenen Schlusssatz. Es ist nämlich der Lysgletscher klein zu nennen, wird in der Monte Rosagruppe bezüglich seiner Länge nicht bloss vom Gorner-, sondern z. B. auch vom Ferpécle-, Zinal-, und Findelen-, Zumtt-, Turtmann- und Riedlgletscher übertroffen;

---

[1] Neuere Untersuchungen etc., Seite 500.

seine Länge ist etwas kleiner als eine österreichische Meile, beiläufig die Hälfte der des Gorner Gletschers oder 0·7 der der Pasterze.

IV. Skandinavien.

Die ausgedehnten Firn- und Schneefelder der Kjölen sind geodätisch noch wenig studirt; diejenigen Zahlen, welche zu den Untersuchungen über die relative Höhenlage der Firnlinie nothwendig wären, fehlen fast gänzlich.

Selbst die neueren Publicationen müssen in manchen Fällen auf die Zahlen Wahlenberg's zurückgreifen, welche doch aus dem Beginne dieses Jahrhundertes stammen.

In unseren Berechnungen müssen wir im vorhinein auf eine genaue Bestimmung der Firnkammhöhe verzichten, da die hiezu nothwendigen Messungen fehlen; wir müssen uns mit beiläufigen Calculs begnügen.

Sulitelma.

Die Spitzen des Sulitelma und die von ihnen abfliessenden Firn- und Gletschermassen liegen schon innerhalb der Polarzone; aus diesem Grunde dürften die nachfolgenden Untersuchungen von besonderem Interesse sein; auch der Umstand, dass das Sulitelmagebiet zu den grossartigsten Bräen Skandinaviens gehört, dürfte volle Beachtung verdienen.

Ein meilenweites, von Firn bedecktes Hochplateau, welches allmälig bis zu 4600 Pariser Fuss Seehöhe ansteigt, bildet gleichsam den Kamm; daraus erheben sich rasch ansteigend die beiden fast gleich hohen Spitzen, wovon die in Schweden gelegene nach den neuesten und sehr genauen Messungen Elowson's 6315 schwedische Fuss absoluter Höhe erreicht.

Dieses Steilgebiet ist gegenüber dem übrigen Firnplateau klein zu nennen, so dass er desshalb auf die durchschnittliche Kammhöhe keinen wesentlichen Einfluss nehmen kann; vom Firnplateau steigt der Firnkamm bis zu der Firnlinie, welche auf der südöstlichen Abdachung nach Wahlenberg in 3100 Pariser Fuss gelegen ist, sanft hinab; nach demselben Autor findet der

Gletscher 700 Pariser Fuss tiefer (2400 Pariser Fuss absolute Höhe) sein Ende[1].

Rechnet man aus dem höchsten Punkte des Firnplateaus (4600 Fuss) und der Seehöhe der Firnlinie (3100 Fuss) unter der Annahme, dass das Ansteigen von dieser zu jenem ein gleichmässiges ist, die durchschnittliche Firnkammhöhe, so ergibt sich dieselbe mit

$$\frac{4600}{2} + \frac{3100}{2} = 3850 \text{ Pariser Fuss.}$$

Da das Gletscherende 700 Fuss unter der Firnlinie (3100 Fuss) liegt, so berechnet sich die Firnkammhöhe unter der Voraussetzung, dass die Firnlinie in halber Höhe des gesammten Gletschers liegt mit 3100+700 = 3800 Pariser Fuss, womit die früher gefundene Zahl sehr gut übereinstimmt.

Ich bedauere, dass mir von keinem anderen Gletschergebiete Skandinaviens die nothwendigen Zahlenwerthe vorliegen, um die in Rede stehende Gesetzmässigkeit auch durch diese erproben zu können. Wir müssen uns also damit begnügen, dass einer der ausgedehntesten, u. z. arctischen Gletscher dieselbe bestätigt.

V. Hochasien.

Es musste für mich vom grössten Werthe sein, die Richtigkeit der in den Alpen gefundenen Gesetzmässigkeit in den Beziehungen zwischen der verticalen Höhe des Firnfeldes und der des eigentlichen Gletschers in Hochasien zu prüfen. Abgesehen davon, dass dort die klimatischen Verhältnisse von unseren alpinen vielfach abweichend sind, so war es insbesondere die kolossale verticale Entwicklung der Gletscher des Himálaya, welche in der aufgeworfenen Frage geradezu entscheidend sein musste. Ich erwähne bloss, dass z. B. der Gletscher Cháia[2] bis zu 10.520 englische Fuss

[1] Diese Zahlen entnahm ich H. Svenonius: On några svenska jöklar. (Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar., Bd. IV, N.. 1, 1878.)

[2] Herm. v. Schlagintweit: Meteorologische Resultate aus Indien und Hochasien, Taf. II. Berichte der phys.-math. Classe der k. bayer. Akademie der Wissenschaften. 1865, Seite 226.

hinabreicht, während die grösste Erhebung dieser riesigen Gebirgskette, der Gaurisankár, bis zu 29.002 englischen Fuss hinansteigt. Diese Differenz von 19.522 englische Fuss übertrifft die Seehöhe der höchsten Spitze unserer Alpen noch bedeutend, wesshalb ich in den glacialen Verhältnissen des Himálaya, insoweit sie die aufgeworfene Frage über die relative Höhenlage der Firnlinie betreffen, eine Berechtigung finde auf jene zurückschliessen zu dürfen, welche während der Eiszeit in unseren Alpen herrschten.

Da mir die „Results of a Scientific Mission to India and High Asia" Schlagintweit's nicht zur Verfügung stehen, so glaubte ich am besten zu handeln, Herrn Herm. von Schlagintweit meine aus den Alpen gewonnenen Ansichten mit der Bitte vorzulegen, dieselben auch bezüglich des Himálaya etc. zu prüfen. Der genannte Herr kam meinem Ansuchen mit seltener Liebenswürdigkeit und Ausführlichkeit entgegen, wofür ich an dieser Stelle meinen innigsten Dank wiederhole.

Ich halte es für das Beste, die briefliche Mittheilung des genannten Herrn wortgetreu wiederzugeben.

„*A.* Die Südseite des Himálaya, sein steiler Abhang gegen Indien.

Klima: Feucht, mit schmalen trockenen Rändern am Kamm selbst. Niederschlagsmenge gross, abnehmend von SO nach NW.

Seite des II. Bandes der Results	Nr. auf der Seite[1]	Primäre Gletscher	Absolute Höhe des unteren Gletscherendes in englischen Fuss
275	50	Chángo Khang[2]	14·000
279	83	Takcham	14.000
317	64	Südl. Úta Dhúsa	16.250
319	68	Loã	14.200
321	74	Milum	12.000

[1] In den Results Vol. II, sind unter dieser Nummer die Art der Messung, die Provinz und die Localitätsverhältnisse angegeben.

[2] Aussprache: Vocale und Consonanten wie im Deutschen mit Ausnahme von j, ch u. sh, wie im Englischen. ~ über einem Vocal ist Nasenlaut, die Silbe mit Accent hat den Ton.

Seite des II. Bandes der Results	Nr. auf der Seite	Primäre Gletscher	Absolute Höhe des unteren Gletscherendes in englischen Fuss
322	79	Mástoli	11.492
337	173	Sasútti	14.674
341	202	Kidasnák	11.020
352	267	Cháia..................	10.520
353	275	Ráthi..................	14.920
355	287	Tons	12.356
371	406	Shigri	12.697
376	449	Chamchúc	11.430
385	514	Südl. Lolóni	11.579
"	"	Nördl. "	13.999
395	610	Tsóji..................	10.967
462	230	Súru	12.706

Der Mittelwerth für das untere Ende (E) der primären Gletscher ergibt sich aus den vorstehenden 17 Bestimmungen = 12.900 englische Fuss.

Den Mittelwerth für die Höhe der Schneegrenze (F) in dieser Gebirgsregion fand ich = 16.200 englische Fuss.[1]

Setzt man

$$F = \frac{E + K^{2}}{2} \text{ oder } K = 2F - E,$$

so ergibt sich

$$K = 2 \times 16.200 - 12.900 = \mathbf{19{,}500} \text{ englische Fuss.}$$

Ist auch hier, auf der Südseite des Himálaya, ungeachtet vorherrschend steilen Charakters, die Höhe der oberen Hochfirngrenze (K) immerhin etwas ungenau begrenzt, so tritt doch sogleich hervor, dass — analog den betreffenden Verhältnissen anderer Hochgebirge — der aus obiger Gleichung resultirende Werth auch den Formen, welche hier die obersten Kämme und Gipfel zeigen,

[1] Details, siehe Results, Vol. IV. pag. 566—572.

[2] K = mittlere Höhe des Firnkammes.

sehr wohl entspricht. Es lässt sich damit auch die mittlere Höhe der Pässe über die Kammlinie verbinden, für welche sich 17.800 Fuss ergeben hat und die Umgebungen der einzelnen Gletscher entsprechen ebenfalls der Mehrzahl nach sehr wohl dem obigen gegenseitigen Werthe.

Aber für das Hinanreichen der zusammenhängenden Decke von Hochfirn bei den grösseren unter den primären Gletschern lässt sich annehmen, dass der betreffende Werth wegen der bedeutenden Kamm- und Gipfelhöhe des Himálaya — ungeachtet der Steilheit der Formen — meist etwas grösser noch ist als das Mittel von 19.500 Fuss. Es wirkt dabei mehr die Temperaturabnahme in solcher Höhe noch mit als die am Südrande und in den Mittelstufen vermehrte Niederschlagsmenge; die oben angeführte Höhe der Schneegrenze hat sich auch in ihrer Verbindung mit den Höhen-Isothermen, zu denen sie herabreicht, für solche Breiten als sehr wohl den mittleren Verhältnissen entsprechend ergeben."

Aus diesen vorstehenden Mittheilungen des Herrn Herm. v. Schlagintweit geht zweifelsohne hervor, dass auch an der Südseite des Himálya die Firnlinie in halber Höhe zwischen dem Gletscherende und dem Firnkamme gelegen ist.

Dass diese Gesetzmässigkeit bei bedeutend grosser Gipfel- und Kammhöhe nicht vollends übereinstimmt, sondern diese in der That „meist etwas grösser" als der durch Rechnung gefundene Zahlenwerth ist, dürfte vorwiegend seinen Grund in einer anderen Berechnungsweise der Kammhöhe haben. Während für die üblichen geographischen Zwecke der Kamm des Himálaya die Grenze der Nord- und Südabdachung desselben ist, so müssen wir für unseren Bedarf die sich von diesem nach Süd herabziehenden, die einzelnen Riesengletscher trennenden Nebenkämme, so weit sie noch über der Firnlinie liegen, in Rechnung bringen, wodurch der Zahlenwerth für den jeweiligen Firnkamm kleiner als der des Kammes, welcher das Nord- und Südgehänge trennt, ausfallen muss.

B. Nordseite des Himálaya und beide Seiten des Karakorúmgebirges.

Da Herr Herm. v. Schlagintweit diese drei Gehänge, welche zwei verschiedenen Gebirgen angehören, gleichzeitig

behandelt, so glaube ich, dass eine derartige Verallgemeinerung zu nicht befriedigenden Schlüssen führt.

C. Das Künlüngebirge.

Leider befindet sich in dem reichen Messungsmateriale des Herrn v. Schlagintweit nur eine Bestimmung eines unteren Gletscherendes und zwei der Firngrenze. Doch versuchte es Herr Herm. v. Schlagintweit in seiner ausführlichen Zuschrift aus analogen Verhältnissen Mittelwerthe für die Höhe des Firnkammes abzuleiten und berechnete diesen mit 17.700 bis 19.100 englische Fuss; er hatte die Güte, zu diesem Resultate zu bemerken: „Indem dies auch mit den localen Terrainverhältnissen befriedigend übereinstimmt, schliesst es sich zugleich den allgemeinen Veränderungen mit der geographischen Breite sehr wohl an."

Herr Herm. v. Schlagintweit betrat in den das Hochland Centralasiens betreffenden Gletscherverhältnissen einen Weg der Rechnung, welcher von jenem von mir eingeschlagenen wesentlich abweicht; während er Durchschnittswerthe von einem sich durch mehrere Längengrade dahinziehenden Gletschergebiete ableitet, so habe ich stets nur einen Primärgletscher der Rechnung unterzogen. Der letztere Weg setzt viele genaue Messungen in einem relativ sehr kleinen Gebiete voraus, welche man in dem durch die Herren v. Schlagintweit erschlossenen riesigen Gebiete dermalen nicht erwarten kann. Es werden somit auch die durch die Rechnung (Firnlinie in halber Höhe zwischen Gletscher-Anfang und -Ende) gefundenen Mittelwerthe in demselben Masse mit den auf Messungen basirten Durchschnittswerthen übereinstimmen, als die letzteren der Wirklichkeit entsprechen, mit anderen Worten, aus je mehr Elementen sie abgeleitet wurden.

Ich muss somit auf die vorstehenden gütigen Mittheilungen des Herrn Herm. v. Schlagintweit einen um so grösseren Werth legen, da dieselben nicht nur ein höchst wichtiges Gebiet abhandeln, sondern auch einen anderen Weg der Rechnung als den von mir befolgten, einschlagen, und die von mir vermuthete Gesetzmässigkeit in der gleichen verticalen Vertheilung des Firnes und Eises der Gletscher bestätigen.

VI. Neu-Seeland.

Die Gletscherverhältnisse dieser auf der südlichen Halbkugel gelegenen Insel erregten allgemeines Interesse und waren mehrfach Gegenstand besonderer Besprechungen, seitdem sie durch v. Hochstetter's inhaltreiches Werk[1] der Wissenschaft erschlossen wurden. In diesem ist auf Seite 349 zu lesen: „Die untere Grenze des Gletschereises dürfte im Allgemeinen bei 4500 Fuss anzunehmen sein, wenn auch einzelne Thalgletscher selbst tiefer als 3000 Fuss herabsteigen, die Grenze des ewigen Schnees aber für eine südliche Breite von 43 bis 44° bei 7800 bis 7500 Fuss.“

Über die Southern Alps, auf die sich diese Ziffern beziehen und welche eine „ununterbrochene Gebirgskette“ darstellen, deren Gipfel zwischen 10.000 bis 13.000 Fuss Meereshöhe erreichen, führen, soweit die bisherigen Erfahrungen erreichen, nur zwei Übergänge, u. z. über 7000 bis 8000 Fuss hohe Firnsättel. Aus diesen Angaben v. Hochstetter's (S. 334) ist zu entnehmen, dass die erwähnten zwei Sättel nahe 8000' Fuss erreichen dürften, da die Firnlinie bei 7500 bis 7800 Fuss Meereshöhe gelegen ist; daraus und unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Gipfelhöhe bei 11.500 Fuss ergibt sich eine durchschnittliche Kammhöhe von mindestens nahezu 10.000 Fuss, wodurch die Schätzung Haast's als etwas zu niedrig gegriffen erscheint.

Das durchschnittliche Gletscherende (4500 Fuss) ist somit um mindestens 5500 Fuss tiefer gelegen als der gesammte Firnkamm (10.000 Fuss); unter der Voraussetzung, dass die Firnlinie in halber Höhe zwischen diesen beiden liegt, findet man ihre absolute Höhe zu 7250 Fuss, was gegenüber der Schätzung (7500 bis 7800 = 7650) eine Differenz von 400 Fuss oder 7·4 Procent der gesammten Gletscherhöhe ergibt.

Berücksichtigt man jedoch den Umstand, dass die Höhe des Firnkammes wahrscheinlich grösser als 10.000 Fuss sein dürfte, so wird sich die erwähnte Differenz noch bedeutend reduciren.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen dürfte es von weiterem Interesse sein, ein specielles Beispiel an einem der mächtigsten Thalgletscher Neu-Seelands, an jenem des Mount Hook, dessen

[1] Neu-Seeland. Von Dr. F. v. Hochstetter. Stuttgart 1863.

Gipfelhöhe v. Hochstetter mit 13.200 Fuss angibt, durchzuführen.

Sein Fuss liegt in einer Seehöhe von 2960 Fuss, seine Firnlinie wird mit 7800 Fuss geschätzt; es wäre somit die durchschnittliche Firnkammhöhe 7800 + 4800 = 12.600 Fuss, ist somit tiefer gelegen, als dessen höchste Spitze, der Mount Cook, und ist also ein Zahlenwerth, welcher aus besagtem Grunde nicht unmöglich, wohl jedoch wahrscheinlich genannt werden muss.

Diese beiden Berechnungen konnte ich auf Basis der von v. Hochstetter gegebenen Zahlen durchführen; zu weiteren reichen dieselben nicht aus.

Obwohl die benützten Ziffern manchmal nur Schätzungen sind, somit keine entsprechende Genauigkeit beanspruchen, so muss man trotzdem zugeben, dass die zwischen Theorie und Messung oder Schätzung bestehenden Differenzen durchaus nicht wesentlich sind, dass auch in der Gletscherwelt Neu-Seelands, welche sich unter ganz eigenthümlichen Verhältnissen entwickelt, die Firnlinie in halber Höhe zwischen dem Gletscherende und dem Firnkamme liegt.

Überblickt man das gesammte, im Vorstehenden mitgetheilte Materiale, so bezieht sich dasselbe auf verschiedene und weit entlegene Punkte der Erde, an welchen sich unter den abweichendsten klimatischen Verhältnissen Gletscher entwickeln. Es behandelt sowohl summarisch grosse Gletschergebiete, als auch speciell einzelne Firn- und Eisströme, welche unter den verschiedensten Terrainverhältnissen langsam in die Tiefe fliessen.

Selbst bei kleinen Gletschern, wie es z. B. der Mittelbergferner ist, haben wir nachgewiesen, dass sie trotz ihrer erhöhten Empfindsamkeit unter dem ungünstigen Einflusse einer mehrere Hundert Meter Höhe betragenden Eiscascade noch immer nicht im Stande sind, die besprochene Gesetzmässigkeit zu verwischen.

Wir haben diese nachgewiesen an den beiden Flanken unserer Alpenriesen, wir haben sie erprobt in einem innerhalb dieser beiden gelegenen und mächtig entwickelten Fernergebiete, wir haben gesehen, dass auch die wenigen Zahlen, welche wir von den skandinavischen Jöklar benützen, speciell von einem Jökel der arctischen Zone, jener Gesetzmässigkeit entsprechen, wir

fanden sie bestätiget an dem grossartigsten Gletschergebiete der Erde, an jenem des Himálaya, wir haben gefunden, dass selbst die dürftigen Nachrichten über den Künlün nicht widersprechend sind und konnten schliesslich constatiren, dass auch die Firn- und Eismassen in der südlichen Hemisphäre, in Neu-Seeland, eine gleiche verticale Verbreitung documentiren. Also an den verschiedensten Punkten der Erde, unter den abweichendsten klimatischen und Terrainverhältnissen stehen die Gletscher unter derselben Gesetzmässigkeit, die da lautet: „Die Firnlinie liegt in halber Höhe zwischen dem Gletscherfusse und dem Firnkamme.

Die Lage der Firnlinie zur Eiszeit.

In jener Zeit, als ein beträchtlicher Theil des jetzigen Europas vom Meere bedeckt war, als viele der daraus hervorragenden Gebirgskämme ausgedehnte Firnfelder bargen, die ihre Eiszungen bis zu dem damaligen mediterranen Meere oder bis in die bairische Hochebene etc. vorschoben, zu jener Zeit musste die relative Höhenlage der Firnlinie dieselbe sein wie jetzt, denn diese Gesetzmässigkeit wurde bei den heterogensten klimatischen Factoren nachgewiesen, sie wurde bestätigt für die Gletschergebiete des Himálaya, bei welchen die Differenz zwischen dem höchsten Gipfel und dem tiefsten Gletscherende immer noch bedeutend grösser ist, als die dermalige Seehöhe des Montblanc; es musste also auch zur Eiszeit die Firnlinie in der halben Höhe des gesammten Gletschers gelegen gewesen sein.

So weit unsere jetzigen Kenntnisse reichen, waren zu jener Zeit z. B. die Alpen in allen ihren wesentlichen tectonischen Zügen so wie heute. Grössere Dislocationen, die Bildung neuer Berge oder Gebirgsrücken und Thäler fanden nicht mehr statt, nur die Erosion und Verwitterung bewirkten Abtragungen, welche wir durchaus nicht unterschätzen wollen, die jedoch auf das Resultat unserer weiteren Untersuchungen keinen wesentlichen Einfluss nehmen können.

Die Endmoränen zur Zeit der grössten Vergletscherung sind uns bekannt, sind jene Wälle, welche z. B. die oberitalienischen Seen an ihren Südufern einfassen.

Unter den Gletschern der Alpen Österreichs war der Etschgletscher einer der grössten, wahrscheinlich der grösste. Er entspricht dem jetzigen Flussgebiete der Etsch und seine Eismassen waren in ihrem untersten Theile westwärts mit dem Thale der Sarca im Zusammenhange, ja es erscheint wahrscheinlich, dass sie dorthin ihren einzigen Abfluss nahmen. Das südliche Ufer des Gardasees ist ein Theil jener Stirnmoränen und bezeugt, dass der Etschgletscher der Diluvialzeit seinen Abschwung in einer dermaligen Seehöhe von circa 300 Pariser Fuss gehabt habe.

Mit Hilfe der hypsometrischen Karte von Steinhauser bestimmte ich die Höhe des Kammes, welche das Flussgebiet Etsch-Sarca einsäumt. Ich musste hiebei von der früher beschriebenen genauen Methode absehen, und mich mit dem arithmetischen Mittel aus 295 Punkten des Kammes begnügen. Die hiebei vorkommenden Fehlerquellen dürften sich gegenseitig compensiren; und sollte in der That eine Differenz gegenüber der richtigen Zahl bestehen, so ist diese jedenfalls nicht derart, dass sie die späteren Betrachtungen nennenswerth beeinflussen würde.

Es ergaben sich nachfolgende Werthe:

Höhe in Pariser Fuss	Anzahl dieser Höhen in der Kammlinie
400	2 mal
750	2 „
1.500	3 „
2.500	5 „
3.500	11 „
4.500	18 „
5.500	26 „
6.500	47 „
7.500	62 „
8.500	55 „
9.500	39 „
10.500	20 „
11.500	5 „

Daraus berechnete ich die dermalige absolute Höhe des gesammten Kammes mit 7314 Pariser Fuss.

Die vorstehende Zifferngruppe habe ich auch graphisch (Taf. I) dargestellt, u. z. unter der schon einmal erwähnten Voraussetzung, dass die einzelnen Hypsenbänder durchschnittlich von gleicher Breite seien. Die Seehöhe wurde als Abscisse, die Anzahl als Ordinate aufgetragen und auf diese Weise ein stufenförmiger Kamm erhalten, in welchem die gleichen Höhen aneinander gereiht erscheinen. Dieser Stufenkamm wurde ohne Flächenverlust zu einer continuirlichen Kammlinie ausgeglichen und diese als Basis der weiteren Untersuchungen genommen.

Es handelte sich nun darum, die Firnlinie und den Firnkamm einzuzeichnen; die verticale Entfernung dieser beiden muss eben so gross sein als jene der ersteren von der Endmoräne, welche in 300 Pariser Fuss Seehöhe liegt.

Eine zweite Bedingung, welcher die richtige, mittlere Firnkammlinie zu entsprechen hat, ist folgende: Durch sie wird eine dreieckähnliche und höher gelegene Fläche (Verlustdreieck *ABC*, Taf. I.) weggeschnitten, welche in ihrer Fläche gleich sein muss dem Zuwachsdreiecke *ADE*, d. i. jene einem Dreiecke ähnliche Figur, welche begrenzt wird von der Horizontalen des aufzufindenden mittleren Firnkammes, von einer Verticalen, die von jenem Punkte aus gezogen wird, wo die Firn- die Kammlinie trifft und drittens wird das Zuwachsdreieck begrenzt von jenem Theile der Kammlinie, welche zwischen der zu suchenden Firn- und Firnkamm-Linie gelegen ist (Taf. I).

Durch diese beiden Bedingungen,

1. die Firnlinie liegt in halber Höhe zwischen der Endmoräne und der Firnkammlinie, und
2. das Verlustdreieck ist der Fläche nach gleich dem Zuwachsdreiecke,

ist die Höhenlage der beiden zu suchenden Linien eine vollends bestimmte.

Auf dem Versuchswege wurde die Höhe des Firnkammes mit 7752 Pariser Fuss gefunden, welchem eine Firnlinie mit

$$\frac{7752-300}{2}+300=4026 \text{ Pariser Fuss}$$

entspricht.

Es waren also während der grössten Vergletscherung (Maximum der Gletscherperiode) alle jene Gelände des Etschgebietes,

welche dermalen mehr als 4026 Pariser Fuss Seehöhe messen, von Firn bedeckt und somit Gletscher productiv, während darunter die Ablation des Gletschers stattfand; es mussten also Höhen unter 4026 Pariser Fuss, welche noch aus dem Eisstrome herausschauten, im Sommer schneefrei und von Vegetation bedeckt sein, ebenso auch jene Bänder, welche sich zwischen dem Eisstrome und den höher gelegenen secundären Gletschern befanden, etwa so wie dermalen jene saftigen Alpenweiden, welche sich z. B. zwischen dem unteren Theile des Pasterzengletschers und dem Pfandlkees befinden. Dadurch war es möglich, dass die grossen Säugethiere der Eiszeit (*Elephas primigenius*, *Rhinoceros tichorhinus*. *Bos taurus*, etc.), ohne Futtermangel zu leiden, so bedeutend weit in die Gletschergebiete vordringen konnten, wie wir dies aus den Funden der Knochenreste wissen.

Wir werden uns eine klarere Vorstellung über die Bedingungen des pflanzlichen und thierischen Lebens machen können, wenn wir die Temperaturdepression gegenüber der Gegenwart berechnen.

Klima zur Eiszeit. — Eiszeithypothesen.

Nach v. Sonklar's Messungen und Berechnungen liegt dermalen die Firnlinie im Etschgebiete nahezu 8100 Pariser Fuss, somit um 4074 Pariser Fuss höher als zur Eiszeit.

Nach demselben Autor sind in den Ostalpen (vom Ortler ab) die Hypsothermen für 1° R. in einer verticalen Entfernung von 723 Pariser Fuss.[1] Es musste daher zur Eiszeit die Temperatur des Etschgebietes um $\frac{4074}{723} = 5{\cdot}6°$ R. geringer als in der Gegenwart gewesen sein. Dermalen entspricht in den Ostalpen einer Seehöhe von 4074 Pariser Fuss ein Jahresmittel von $+3{\cdot}4°$ R. es herrschte also zur Eiszeit an der Firnlinie eine Temperatur von $-2{\cdot}2°$ R., somit fast die gleiche als bei den alpinen Firnlinien der Gegenwart.

Da ich an der Petschora selbst Gelegenheit hatte, dort, wo unsere Isothermenkarten die $-3°$ Curve einzeichnen, zusammen-

[1] Für Kärnten fand ich fast genau dieselbe Zahl, nämlich 732·5 Pariser Fuss für 1° R, mit Zugrundelegung der 14 südlichen Gehängstationen.

hängende Urwälder zu sehen, welche vorwiegend aus Fichten bestanden, in welche sich auffallend hohe Lärchen und auch Birken mischten, so halte ich es durchaus nicht für unmöglich, dass jene schneefreien Streifen, welche sich tief in die Alpenländer hineinzogen, sogar mit Baumwuchs bedeckt sein konnten.

Würde beispielsweise dermalen die Durchschnittstemperatur in unseren Alpenländern um 1°R. sinken, so würden die Gletscherenden nicht um 723 Pariser Fuss, sondern um $2 \times 723 = 1446$ Pariser Fuss tiefer gerückt werden, da ja die in halber Höhe liegende Firnlinie um 723 Fuss, somit der Gletscherfuss in Folge der nachgewiesenen Gesetzmässigkeit um das Doppelte sinken müsste. Aus diesem Grunde sind jene Berechnungen über die Temperaturdepression der Eiszeit unrichtig, welche dieselbe aus der Verticaldistanz eines jetzigen Gletscherfusses und einer alten Endmoräne, dividirt durch die Hypsothermen, berechneten.

Meines Wissens wurde bisher nur von Prof. H. Simony der Versuch unternommen, u. z., wie es scheint, auf Basis der Verbreitung des Erratikums, die Höhe der Firnlinie für das Maximum der Glacialperiode zu bestimmen; er kam zu folgendem Resultate: „Nach einzelnen von dem Verfasser gemachten, allerdings vorläufig nur sehr oberflächlichen Wahrnehmungen in der Umgebung der Raxalpe und des Schneeberges scheint hier die Schneelinie während der Eiszeit bedeutend höher als 3000 Fuss gelegen zu haben, und demzufolge auch die Gletscherentwicklung eine relativ beschränktere gewesen zu sein.[1]

Dieses Ergebniss ist mit dem theoretisch für das Etschgebiet abgeleiteten Werthe (4074 Pariser Fuss) durchaus nicht im Widerspruche und somit indirecte eine Bestätigung desselben.

Die berechnete Temperaturdepression zur Eiszeit ist **5.6° R.**, somit gering; es ist nothwendig, dass wir hiervon einen ziffermässig klaren Begriff besitzen, da wir erst dann beurtheilen können, welche Factoren zur Erklärung der ausgedehnten diluvialen Vergletscherung unserer Alpenländer herbeigezogen werden müssen, und ob dieselben auch ausreichen, eine solche Temperaturdifferenz gegenüber der Gegenwart zu bewirken.

---

[1] Mittheilungen der k. k. geogr. Ges. in Wien 1872, Seite 329.

Von den vielen verschiedenen Eiszeithypothesen will ich nur drei näher untersuchen, welche jene allgemeine Vergletscherung mit Hilfe terrestrischer Ursachen zu erklären versuchen.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass zur Glacialzeit fast alle Tiefebenen Europas von Wasser bedeckt waren, dass somit das Verhältniss zwischen Land und Wasser ein anderes als dermalen war. Ebenso scheint es keinem Zweifel zu unterliegen, dass zur Diluvialzeit ein beträchtlicher Theil des nördlichen Afrika vom mediterranen Meere bedeckt war, welches auch in seinem östlichsten Theile weit in das heutige russische Reich, bis über den caspischen See hinaus, eingriff und daselbst mit dem grossen sibirischen Meere in Verbindung stand; auch für Nordamerika scheint es bewiesen zu sein, dass zu jener Zeit der Erdgeschichte die Landmassen eine viel geringere Fläche als dermalen einnahmen.

Daraus geht hervor, dass zur Eiszeit die vom Wasser bedeckte Fläche der Nordhemisphäre bedeutend grösser als dermalen gewesen war, womit auch eine Erniederung der Temperatur verbunden sein musste.

Dermalen hat das Verhältniss zwischen Wasser und Land auf der südlichen Hälfte der Erdkugel einen fast viermal grösseren Exponenten als auf der nördlichen; desshalb finden wir auf ersteren die Isothermen näher zum Äquator gerückt.

Für das Etschgebiet ergibt sich eine reducirte mittlere Jahreswärme von 11° R.; in derselben südlichen Breite finden wir an den beiden Küsten Patagoniens 6·6° R. und 8° R. somit durchschnittlich 7·3° R., also um 3·7° R. weniger als im Etschthale.

Würde also das dermalen an der Südhemisphäre bestehende Verhältniss in der Vertheilung von Wasser und Land an der nördlichen statthaben, so würde die hiedurch allein bewirkte Abkühlung wohl ein bedeutendes Vorrücken unserer Gletscher bewirken, hingegen nicht zu jener ausgedehnten Vergletscherung hinreichen, welche während der Eiszeit factisch gewesen ist und für welche eine Temperaturdepression von 5·6° R. nothwendig wäre.

Um nun die noch in der Rechnung abgehende Wärmeabnahme von 1·9° R. zu erklären, müsste man annehmen, dass zur Glacialzeit das Verhältniss von Wasser zu Land einen grösseren Exponenten als 1 : 0·12 (Südhemisphäre) hatte oder dass andere ausser-

ordentliche Factoren zur weiteren Abkühlung mitwirkten. Dermalen ist an der nördlichen Erdhälfte das Verhältniss zwischen Wasser und Land 1 : 0·40, es müssten also mehr als $^3/_4$ der jetzigen Continentalflächen während der Eiszeit unter dem Meeresspiegel gelegen gewesen sein. Diese Frage ist aus mehrfachen Gründen dermalen nur annäherungsweise zu beantworten, insbesondere darum, weil unsere Kenntnisse über die Ausbreitung der diluvialen Wasserflächen noch recht lückenhaft sind. Von Europa lassen sich genügend genaue Werthe ermitteln; so fand ich auf Basis der sorgfältig gearbeiteten Karte von Habenichts [1], dass zur Eiszeit der 0·4. Theil [2] des jetzigen Europas vom Meere bedeckt war; schlägt man wegen ausgedehnteren Binnenseen noch maximal 0·1 dazu, so kommt man zu dem Resultate, dass circa die Hälfte Europas unter dem Wasserspiegel lag.

Bezüglich Asiens, welches vermöge seiner Grösse ausschlaggebend wäre, besitzen wir, insbesondere über die Südgrenze des diluvialen sibirischen Meeres, vollends unzureichende Kenntnisse. Das Diluvium Vorderindiens, welches bei Delhi eine Seehöhe von etwas über 1000 Pariser Fuss erreicht, bildet nicht die Hälfte dieser Halbinsel. Die neue kaspische Formation erreicht beim Aralsee kaum die Höhe von 1.000 Pariser Fuss. Nimmt man selbst an, dass das diluviale Meer in ganz Asien einst bis zur jetzigen 2000 Par. F. Hypse hinanreichte, so gelangt man nach der hypsometrischen Übersichtskarte der Erde von Excellenz v. Hauslab zu dem Resultate, dass kaum der 0·3. Theil dieses Continentes vom Meere bedeckt war. Wir müssten somit, um der Hypothese zu entsprechen, annehmen, dass weitere 5 Zehntel von Binnenseen eingenommen wurden, eine Voraussetzung, welche schon mit Rücksicht auf den gesammten Bau dieses Landes vollends ungerechtfertigt erscheint.

Für den nördlichen Theil Afrikas und für Nord- und Centralamerika bekommen wir theils auf Basis der hypsometrischen Karten, theils mit Rücksicht auf directe geologische Beobachtungen noch ungünstigere Zahlenverhältnisse.

---

[1] A. Petermann's geogr. Mittheilungen 1878, Taf, 6. Die dort eingezeichnete Vertheilung des Weltmeeres bezieht sich auf die zweite Eiszeit.

[2] Genauer 0·41; gewöhnlich pflegt man die verbleibenden Continentalmassen arg zu unterschätzen, ebenso auch die von Nordamerika.

Aus den vorstehenden Schätzungen ergibt sich, dass während der Eiszeit an der nördlichen Erdhälfte die Wasserbedeckung der jetzigen Continente jedenfalls nicht so ausgedehnt gewesen ist, um daraus allein jene Wärmeabnahme zu erklären, welche die allgemeine Vergletscherung verlangt.

Noch ungünstiger gestalten sich für diese Hypothese die Factoren, wenn man in Erinnerung bringt, dass verschiedene Forscher glauben zu der Annahme berechtigt zu sein, dass zur Diluvialzeit Ländermassen existirt haben müssen, welche dermalen unter dem Meeresspiegel liegen; ich verweise beispielsweise nur auf die vermuthete Verbindung Nordamerikas und der Azoren, oder auf jenes Land, welches einstens Norwegen im Westen vorgelegen haben soll. Diese versunkenen Ländermassen würden zum Theile jene ausgleichen, welche nach der Eiszeit dem Meere entstiegen, wodurch der Exponent des Verhältnisses zwischen Wasser und Land verkleinert, also für die Hypothese noch ungünstiger werden würde. Ein Gleiches würde für Europa gefolgert werden müssen, wenn man den neueren Anschauungen beipflichtet, welche die skandinavischen Gletscher als solche bis nach Sachsen reichen lassen.

Eine andere Hypothese zur Erklärung der ausgedehnten Vergletscherung Europas ist wohl die, dass zur Eiszeit der Golfstrom die Küsten Europas nicht erreichen, somit diese Wärmequelle nicht wirksam sein konnte.

In der geographischen Breite der Alpen, speciell des Etschgebietes, finden wir an der Westküste Frankreichs fast genau dieselbe Isotherme (11° R.) wie dort; erst etwas westlicher erhebt sich die Temperatur bis zu 12·2° R., hingegen treffen wir an demselben Parallelkreise im Osten Europas, am Asow'schen Meere, die 8° R. Isotherme; es ergibt sich daraus zwischen dem Maximum und Minimum für die in Rede stehende geographische Breite Europas eine Differenz von 4·2° R., welche man im besten Falle der Einwirkung des Golfstromes und den ihn begleitenden Luftströmungen zuschreiben könnte.

In gleicher Breite mit dem Etschthale liegt an der Westküste des atlantischen Meeres der südlichste Theil von Neufoundland mit 4° R. Jahresmittel, ist somit gegenüber jenem im Golf von Biscaya (12·2°) um 8·2° R. tiefer. Diese grosse Differenz kann jedoch

nicht ausschliesslich für den Golfsstrom in die Rechnung gesetzt werden, sondern wird auch bewirkt durch jene aus dem hohen Norden herabkommenden kalten Wassermassen, insbesondere den Labrador-Strom, welcher sich bei den Neufoundlandbänken umbiegt und seine Zweige bis gegen New-York hinabsendet.

Würde man beispielsweise jedem dieser Ströme einen gleichen Einfluss auf die Verschiedenheit der Temperatur an der West- und Ostküste des atlantischen Meeres einräumen, so würde sich die eine Hälfte für den Golfstrom mit 4·1° R. ergeben, womit die früher für Europa gefundene Zahl in bester Übereinstimmung ist.

Wir sehen also, dass dadurch allein, dass der Golfstrom nicht mehr auf die Küste Europas erwärmend einwirken würde, in unseren Breitegraden nicht jene Temperaturdifferenz (5·6°) hervorgerufen werden würde, welche wir zur Erklärung der Eiszeit benöthigen.

Dieser Abgang von 1·4° könnte jedoch dadurch ausgeglichen werden, wenn wir nach Entfernung der Wärmequelle — des Golfstromes — noch die Einwirkung eines kälteren, also von Norden kommenden Stromes in die Erklärung einführen würden. Diese Annahme ist nicht bloss gestattet, sondern auch naturgemäss; denn es ist allgemein bekannt, dass zur Eiszeit ein kaltes Meer bis zum Erzgebirge, den Karpathen u. s. f. herabreichte, in welchem die Eisberge herumgetrieben wurden und schliesslich an den genannten Gestaden ihren Ballast abwarfen.

Wenn der kalte Labrador-Strom, welcher ebenfalls die Eisberge bis auf die Neufoundlandbänke herabbringt, an den nachbarlichen Küsten derselben eine Temperaturdepression von circa 4·1° R. hervorbringt, so wird wohl auch das kalte diluviale germanisch-sarmatische Meer eine derartige Abkühlung bewirkt haben, um hieraus reichlich die Differenz von 1·4° R. zu erklären, welche aus der Temperaturerniedrigung der Eiszeit und jener in Folge des Mangels des Golfstromes resultirt.

Eine andere Quelle der Erniedrigung der Temperatur wurde bereits früher erläutert, nämlich die Vergrösserung der europäischen Wasserfläche gegenüber der Gegenwart, so dass beiläufig die Hälfte des Continentes ihr anheimfällt, wodurch eine Temperaturdepression von 2·6° R. angenommen werden kann, wenn es erlaubt

ist aus der jetzigen Wasser- und Wärmevertheilung auf der Nord- und Südhemisphäre einen Schluss zu ziehen.

Wir haben somit Kältequellen mehr als wir benöthigen, so dass man unwillkürlich die Frage aufwirft, ob es denn überhaupt nothwendig ist, den Golfstrom total zu eliminiren, wie es die erwähnte Hypothese verlangt.

Die Vertheilung zwischen Wasser und Land während der Eiszeit gibt für Europa eine Temperaturabnahme von circa 2·6° R., so dass noch weitere 3·0° R. zu der bekannten Depression von 5·6° R. abgehen.

Von der Nordküste Russlands, von der Polarsee ab, zog sich ein Meer hinab bis in das Herz dieses Reiches und wendete sich dann in westlicher Richtung.[1] Es war ein kaltes Meer und musste von NO nach SW strömen; seinen Hauptausgang aus dem dichtumrahmten Becken hatte es über Belgien und Nordfrankreich, anderseits einen weniger naturgemässen zwischen Norwegen und Schottland. Die schwedischen Wanderblöcke nahmen, wie dies nachweisbar ist, den ersteren, die von Südnorwegen den letztangedeuteten Weg. Vergessen wir ferner nicht, dass die Eisgrenze der Polarsee in Folge der allgemeinen Temperaturabnahme bedeutend nach Süden vorgeschoben war und dass sich das Treibeis weit hinab zwischen Norwegen und Island einerseits, anderseits im heutigen Russland vorschob, dass somit auch die eisproducirende Meeresfläche eine bedeutend grössere war als heutigen Tages. In diesem kalten Meere tummelten sich auch die Eisblöcke herum, welche von den Gletschern der skandinavischen Halbinsel abgebrochen wurden, — in dieses Meer mit seinen beiden schmalen Ausgängen konnte sich der Golfstrom nicht ergiessen, ebenso wenig, wie er dermalen die Nordsee directe beeinflusst; er musste aber durch die austretenden kalten Wassermengen von Europas Küsten weggedrängt werden und musste einen Theil seiner Wärme in Arbeit umsetzen, da er Eis aller Art zu schmelzen hatte. Es konnte aus diesen Gründen der Golfstrom zur Diluvialzeit nicht jenen hohen erwärmenden Einfluss auf unseren Continent nehmen wie heutigen Tages.

---

[1] Es dürfte angezeigt sein, dieses Bild mit Rücksicht auf die Studien Erdmann's, Credner's etc. vorwiegend für die zweite Eiszeit festzuhalten.

Es ist somit nicht absolut nothwendig — wenn nicht andere Gründe hiezu zwingen — anzunehmen, dass der Golfstrom zur Eiszeit überhaupt gar nicht existirte oder einen von Europa ferngelegenen Curs nahm, es genügen die beiden Voraussetzungen, dass er in der Nähe unseres Erdtheiles wesentlich abgekühlt wurde und dass unser Diluvialmeer ein kaltes war, um die noch abgängige Temperaturdifferenz von 3·0° R. zu erklären.

Wir kamen zu diesen Schlussfolgerungen durch folgende zwei Voraussetzungen:

1. Zur Eiszeit war fast die Hälfte Europas vom Meere bedeckt.
2. Der weitaus grössere Theil desselben war ein kaltes Meer.

Diese beiden Prämissen sind durch viele Thatsachen derart erhärtet, dass sie allgemein als richtig anerkannt werden. Hieraus allein resultirte eine Temperaturerniedrigung, welche zur Erklärung der Eiszeit vollends genügt.

Eine der ältesten Eiszeithypothesen setzt voraus, dass die Gebirge zur Glacialzeit bedeutend grössere absolute Höhen hatten als jetzt; diese Idee tauchte in den verschiedensten Modificationen von Zeit zu Zeit wieder auf. Mehrere der hervorragendsten englischen Geologen (Lyell, Ramsay etc.) waren und sind Vertreter dieser Anschauung. Es dürfte somit nicht ohne Interesse sein, diesen Factor an der Hand der von uns nachgewiesenen Gesetzmässigkeit zu würdigen, wobei wir abermals auf den alten Etschgletscher zurückgreifen.

Es kann nicht vorausgesetzt werden, dass zu jener Zeit die absolute Höhe der Tiroler Alpen — und ein Gleiches gilt auch von den zur lombardischen Ebene abfallenden Schweizer Alpen — dadurch grösser war, dass zur Eiszeit der Spiegel des Mittelmeeres tiefer lag, im Gegentheile, er lag circa 300 Pariser Fuss höher als heutigen Tages.

Es müsste somit angenommen werden, dass die Alpen seit der Eiszeit entweder in sich eingesunken seien oder dass durch Abtragung in Folge des stetig wirkenden atmosphärischen Zerstörungsprocesses die Höhe bedeutend kleiner geworden wäre. Erstere Annahme lässt sich mit unseren dermaligen geologischen Erfahrungen nicht in Einklang bringen, während die letztere einer unläugbaren Thatsache entspricht, welche einer näheren, ziffermässigen Würdigung bedarf. Wenn man die Temperaturdepression

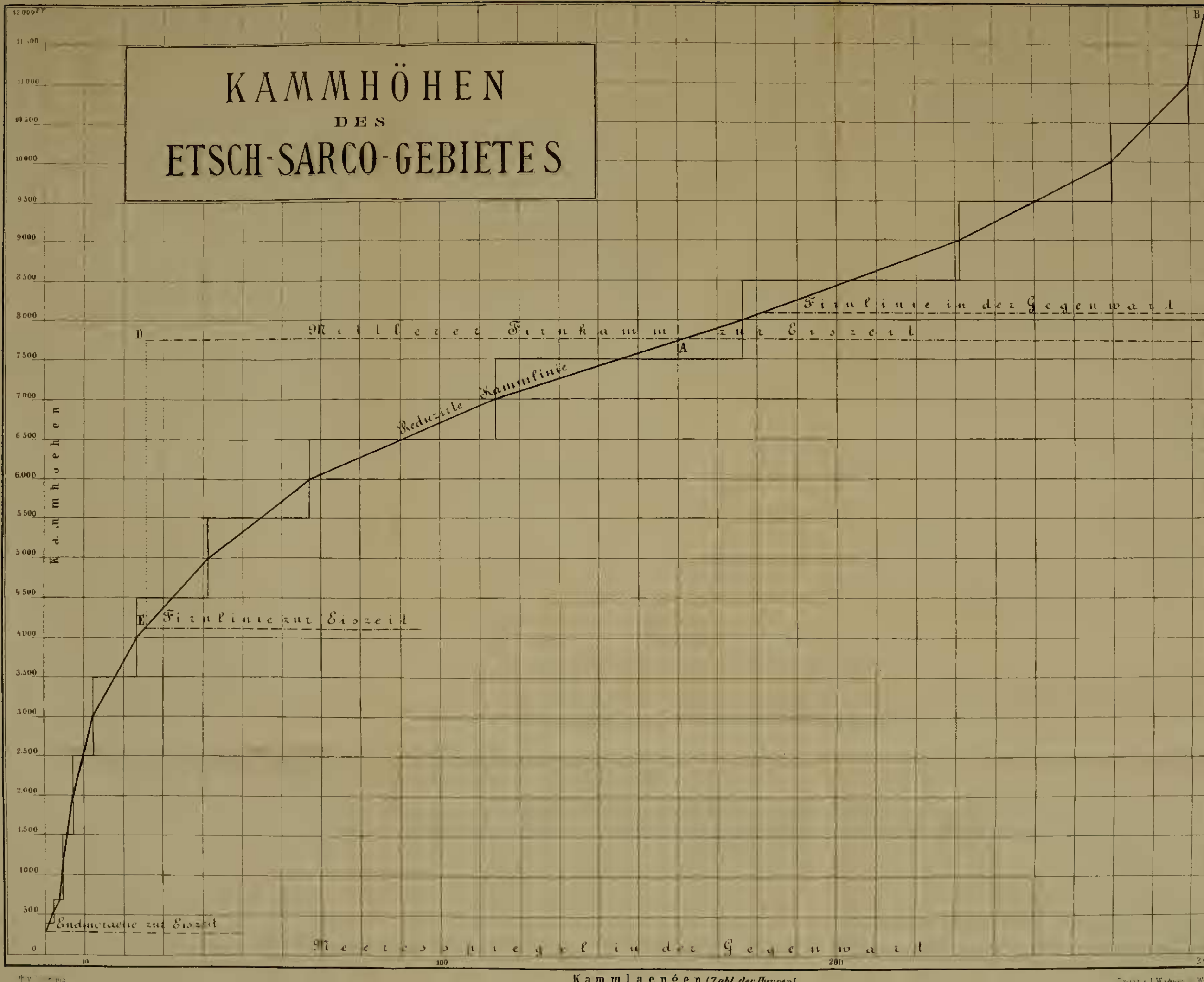
der Eiszeit dadurch allein erklären will, dass man die Alpen als einstens bedeutend höher annimmt, so musste folgerichtig auch dazumal die Firnlinie in derselben Seehöhe wie heute gelegen gewesen sein, also in 8100 Pariser Fuss; würde man noch berücksichtigen, dass zur Zeit des grossen Etschgletschers der Seespiegel um 300 Pariser Fuss höher als heute lag, so würde dies einer dermaligen absoluten Höhe von 8400 Pariser Fuss entsprechen. Da die Endmoränen in 300 Pariser Fuss Höhe lagen, so müsste die durchschnittliche Firnkammlinie des Etschgletschers 8400+7800 = 16.200 Pariser Fuss gewesen sein.

Aus dem auf Taf. I gegebenen Diagramm berechnet sich für die jetzigen Gletscher des Etschgebietes eine mittlere Firnkammhöhe zu 9360 Pariser Fuss. Es müsste somit eine Abtragung von 6840 Pariser Fuss stattgefunden haben, welcher Abgang sich doch auch auf die übrigen Theile des Kammes, welche unter der Firnlinie der Eiszeit lagen, ausgedehnt haben müsste.

Nachdem die jetzige absolute Höhe des gesammten Kammes des Etsch-Sarcagebietes 7314 Pariser Fuss beträgt, so müsste also nahezu die Hälfte des gesammten einstigen Kammes seit der Eiszeit abgetragen worden sein. Berücksichtigt man ferner, dass sich diese Abtragung auf die ganze Fläche des Etschgebietes ausgedehnt haben müsste, dass das feste Gestein, bei seiner Zerkleinerung um 50 bis 125 Procente an Volumen zunimmt, so müssen wir uns unwillkürlich fragen, wohin diese ganz riesigen Massen hingekommen sein sollen.

Es müsste also irgendwo eine Fläche so gross wie das gesammte Etschgebiet um circa 13.000 Pariser Fuss an Höhe zugenommen haben. Vergleicht man damit beispielsweise die thatsächlichen Verhältnisse in dem Theile der oberitalienischen Ebene, welche Südtirol vorliegt, so wird man dieselben fast für verschwindend klein gegenüber den durch die Rechnung gefundenen Zahlen erklären müssen.

Aus diesen Untersuchungen geht gewiss hervor, dass wir thatsächlich nicht berechtigt sind, die allgemeine Vergletscherung der Ostalpen während der Diluvialzeit dadurch zu erklären, dass man eine gleichzeitige Erhöhung der Alpen annimmt.


KAMMHÖHEN
DES
ETSCH-SARCO-GEBIETES
Mittlerer Firnkamm zur Eiszeit
Firnlinie in der Gegenwart
Reduzirte Kammlinie
Firnlinie zur Eiszeit
Endmoraene zur Eiszeit
Meeresspiegel in der Gegenwart
Kammhoehen
Kammlaengen (Zahl der Hypsen)
A
B
C
D
E
12000
11500
11000
10500
10000
9500
9000
8500
8000
7500
7000
6500
6000
5500
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
10
100
200
203